

*Università di Pisa - Polo Sistemi Logistici di Livorno – Corso di
Laurea in Economia e Legislazione dei Sistemi Logistici*

Anno Accademico: 2021/22

Insegnamento di

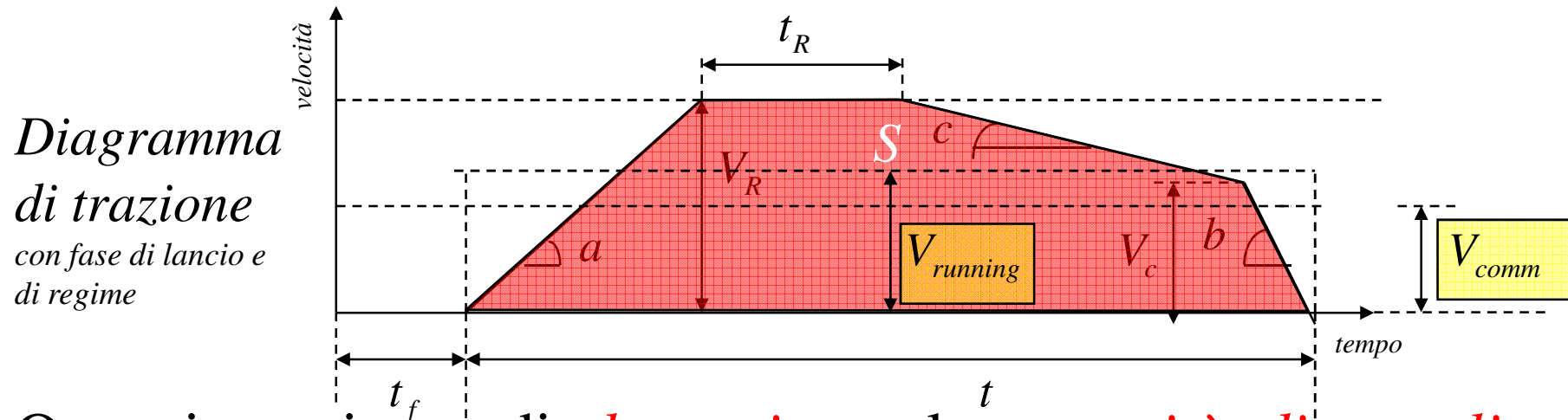
**TECNICA DEI TRASPORTI FERROVIARI,
MARITTIMI E AEREI**

Docente: Marino Lupi

TRASPORTI FERROVIARI

PARTE B

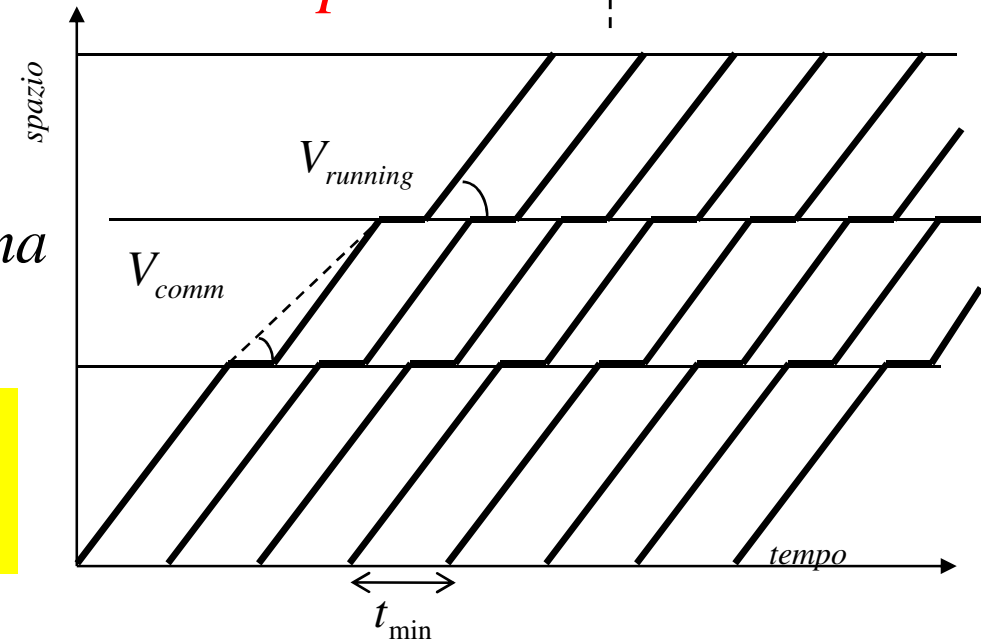
Studiando i *diagrammi di trazione*, abbiamo visto il moto di un treno fra due stazioni successive..



Occupiamoci ora di *determinare* la *capacità di una linea ferroviaria*. Focalizziamo l'attenzione su

Diagramma orario

$$C_{n. \text{ max treni}} = \frac{60}{t_{\text{minimo fra due treni successivi}}}$$



Per potere determinare il *tempo minimo fra due treni successivi* è necessario parlare dei *regimi di circolazione* che ci permettono anche di capire le *caratteristiche funzionali* (il modo di funzionare) del *sistema di trasporto ferroviario* e ci permettono di capire, in particolare, per quale ragione il trasporto ferroviario è un *sistema di trasporto più sicuro* di quello stradale.

**Numero di morti in incidenti per miliardo di
ton-km equivalenti percorse nell' UE, anno
2019**

Modo	Valore	<i>Indice (aereo = 100)</i>
Strada	10,89	6050
Ferrovia	1,75	972
Aereo	0,18	100

Regimi di circolazione

“*Complesso dei provvedimenti tecnici ed organizzativi* necessari per assicurare il *corretto distanziamento fra i treni*”.

I regimi di circolazione attualmente in uso prevedono il “distanziamento a spazio”: la linea ferroviaria è suddivisa in *sezioni di blocco* (o di *distanziamento*); la regola fondamentale, per la sicurezza della circolazione, è che *non può esserci più di un solo treno, contemporaneamente, in ciascuna sezione di blocco*.

Il *minimo distanziamento* spaziale, considerata la velocità dei treni, darà luogo ad un *minimo distanziamento temporale* fra il passaggio di due treni successivi e quindi ad un numero *massimo* di *passaggi* nell’unità di tempo (*capacità della linea*) .

Sulla rete di *RFI* (“*Rete Ferroviaria Italiana* ”) abbiamo i seguenti *regimi (sistemi) di circolazione*.

- *Blocco elettrico automatico a circuiti di binario* (35,16% della rete nel 2018, generalmente sulle linee più importanti).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{a correnti fisse (BAcf)} \\ \text{a correnti codificate (BAcc)} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{ll} \text{a 4 codici} & (\text{ma ora sono anche} \\ & \text{diffuse le linee a 5} \\ \text{a 9 codici} & \text{codici}) \end{array} \right.$$

- *Blocco elettrico automatico conta assi (Bca)* (55,85% nel 2018 della rete)

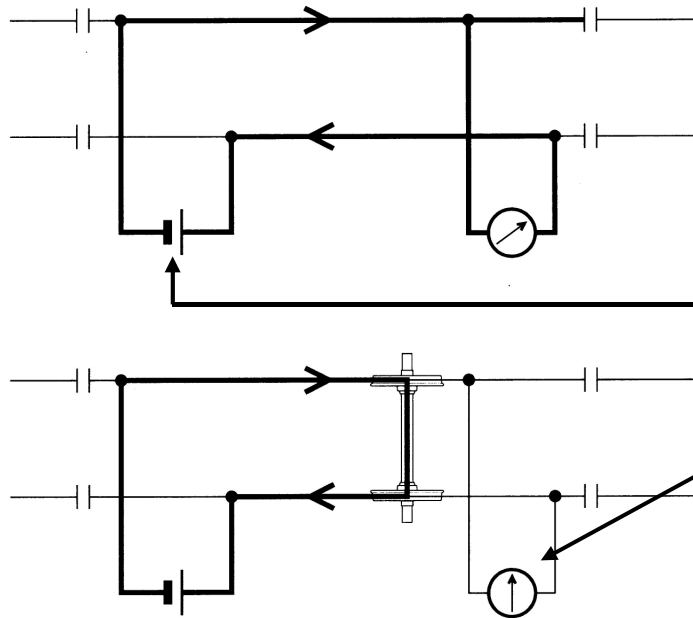
Questi regimi sono in vigore sulla rete *cosiddetta “storica”*, ossia sulla rete esistente prima della seconda guerra mondiale ed inoltre, blocco elettrico automatico a circuito di binario a correnti codificate a 9 codici, sulla Direttissima Firenze-Roma : prima linea ad alta velocità italiana, costruita fra gli anni 70 e gli anni 90; ma su questa linea è in corso il passaggio a ERTMS 2 (blocco radio).

Sempre sulla rete storica abbiamo dei tratti equipaggiati con il “*blocco elettrico manuale*” (BEM) (1,03% della rete nel 2018) ed il “*blocco elettrico telefonico*” (BT) (0,03% della rete nel 2018): sistemi che sono ormai *in disuso* e scompariranno in un prossimo futuro.

- Sulle *nuove linee ad alta velocità* abbiamo un nuovo sistema di blocco : il “*blocco radio*” (4,66 % della rete nel 2020); di esso parleremo estesamente quando tratteremo il nuovo segnalamento europeo ERTMS/ETCS . E’ in corso anche per la *Direttissima Firenze-Roma* l’adeguamento a regime di circolazione a blocco radio e segnalamento ERTMS/ETCS di livello 2 (Installato ERTMS, a fine 2020, sul tratto Firenze Rovezzano – Arezzo Sud).

Circuito di Binario

Come funziona?

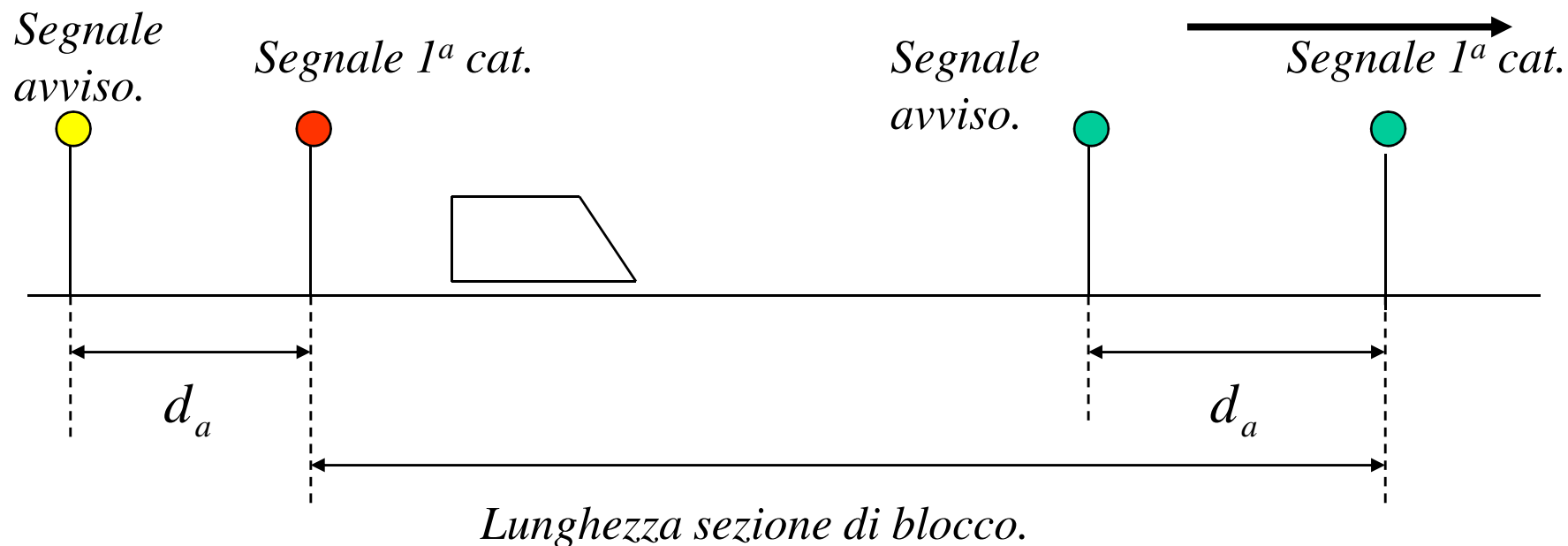


Ho un **generatore di corrente**, ho un **relè** che rileva la corrente. Se il relè rileva la corrente vuol dire che la sezione è libera.

Se c'è l'asse di un treno (basta infatti un singolo asse) il relè non rileva passaggio di corrente: questo vuol dire che la sezione è occupata, il **segnale di protezione**, di **I categoria**, è, **automaticamente**, posto a rosso.

Se il **sistema si guasta**, non circola corrente, viene automaticamente bloccata l'entrata nella sezione.

Logica cosiddetta del “**fail safe**”: se si verifica un guasto il sistema si deve porre, automaticamente, nella condizione di maggiore sicurezza .



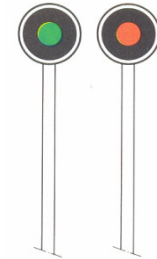
Blocco elettrico automatico a circuito di binario, questo caso è detto a:
Sezioni (di blocco) **non concatenate**

Il circuito di binario rileva la presenza del treno → “mette” il segnale di protezione (I categoria) sul rosso, quello di avviso viene posto automaticamente a giallo.



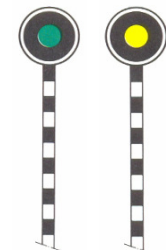
Segnale di **I categoria** (**protezione**) due aspetti: **verde** (la sezione è libera), **rosso** (la sezione è occupata).

Il segnale di prima categoria deve essere posto immediatamente prima del punto protetto. Il segnale di prima categoria, quando posto a via impedita, non deve essere superato.

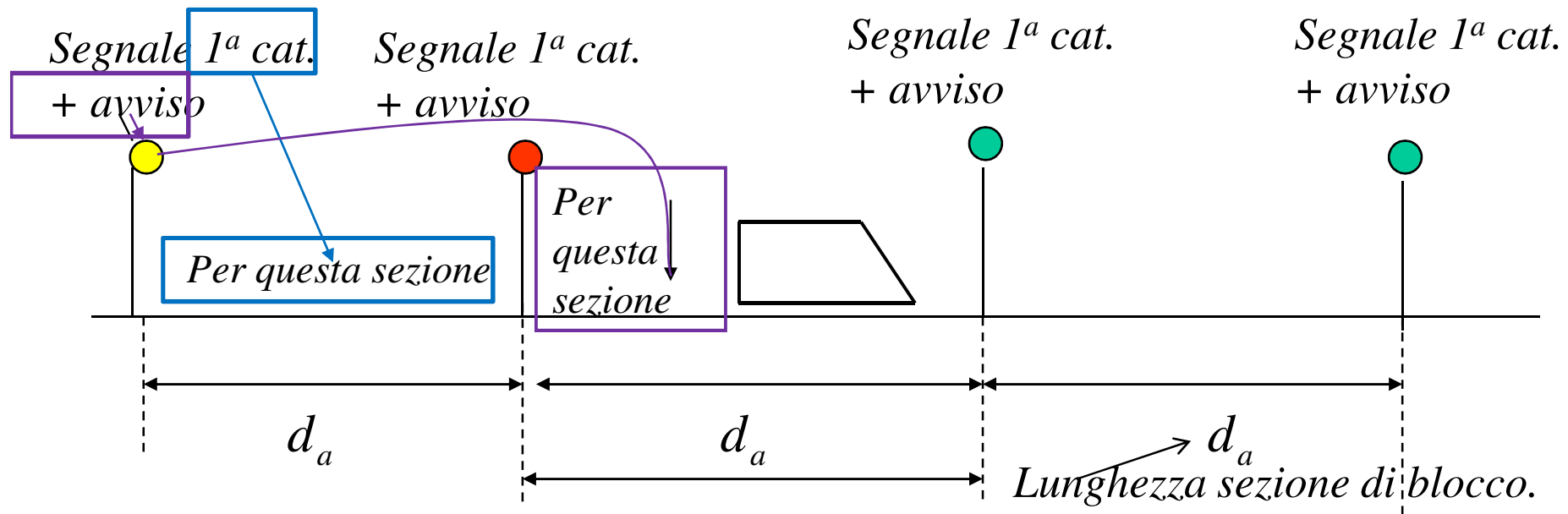


Affinché sia garantito il rispetto di un segnale di I categoria, esso deve essere preceduto, ad opportuna distanza, da un **segnale di avviso**.

Segnale di **avviso** due aspetti: **verde**, avviso di via libera, la sezione successiva è libera; **giallo**, avviso di via impedita, la sezione successiva è occupata. Il segnale di avviso deve essere posto ad una distanza d_a che permetta al treno di arrestarsi.



Sezioni concatenate



Per aumentare la capacità della linea si possono fare delle **sezioni di blocco di lunghezza** pari al valore minimo ammissibile, ossia alla **distanza di arresto**. Il segnale di 1° cat. per una sezione è anche segnale di avviso per il successivo segnale di 1° categoria della sezione successiva: è un segnale di “**I cat. e avviso accoppiati**” ha pertanto tre aspetti: rosso, verde e giallo. **Rosso** = la sezione è occupata; **giallo** = via libera, ma la successiva sezione è occupata; **verde** = via libera senza condizioni.

Sezioni concatenate

Sistema a **tre aspetti** (**rosso, giallo, verde**) : eliminazione dei segnali di avviso e **trasferimento** delle **loro funzioni** ai **segnali di I categoria** che svolgono funzioni di protezione della sezione di blocco a valle e di avviso dell'aspetto del successivo segnale di I categoria.



La distanza di arresto si può calcolare con la *formula di Pédelucq*:

$$d_a = \frac{V_0^2}{\frac{1,09375\lambda_c}{\varphi(V_0)} + \frac{0,127}{\varphi(V_0)} \pm 0,235i}$$

Velocità del treno (in km/h)

Pendenza in “per mille”
pendenza = 0,012:i ‰=12

$\varphi(V_0)$ è "tabellata" in funzione di V_0

λ_c *Percentuale di peso frenato*: individua la *capacità frenante* di un treno a partire dalle capacità frenanti (percentuali di peso frenato) dei singoli veicoli che lo compongono.

Per $\begin{cases} V_0 = 160 \text{ km/h} \Rightarrow d_a \approx 1200 \\ \lambda_c = 120\% \text{ (nella formula devo mettere 1,2)} \end{cases}$

V massima, in esercizio, negli anni 60.

Le FS hanno stabilito, nel caso di sezioni concatenate, generalmente: $d_a = 1350 \text{ m}$



Indicazione del peso frenato e del peso reale sulla *fiancata di una locomotiva*.

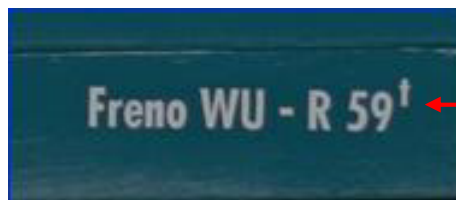
Tara



Peso totale (a pieno carico)

Posti a sedere

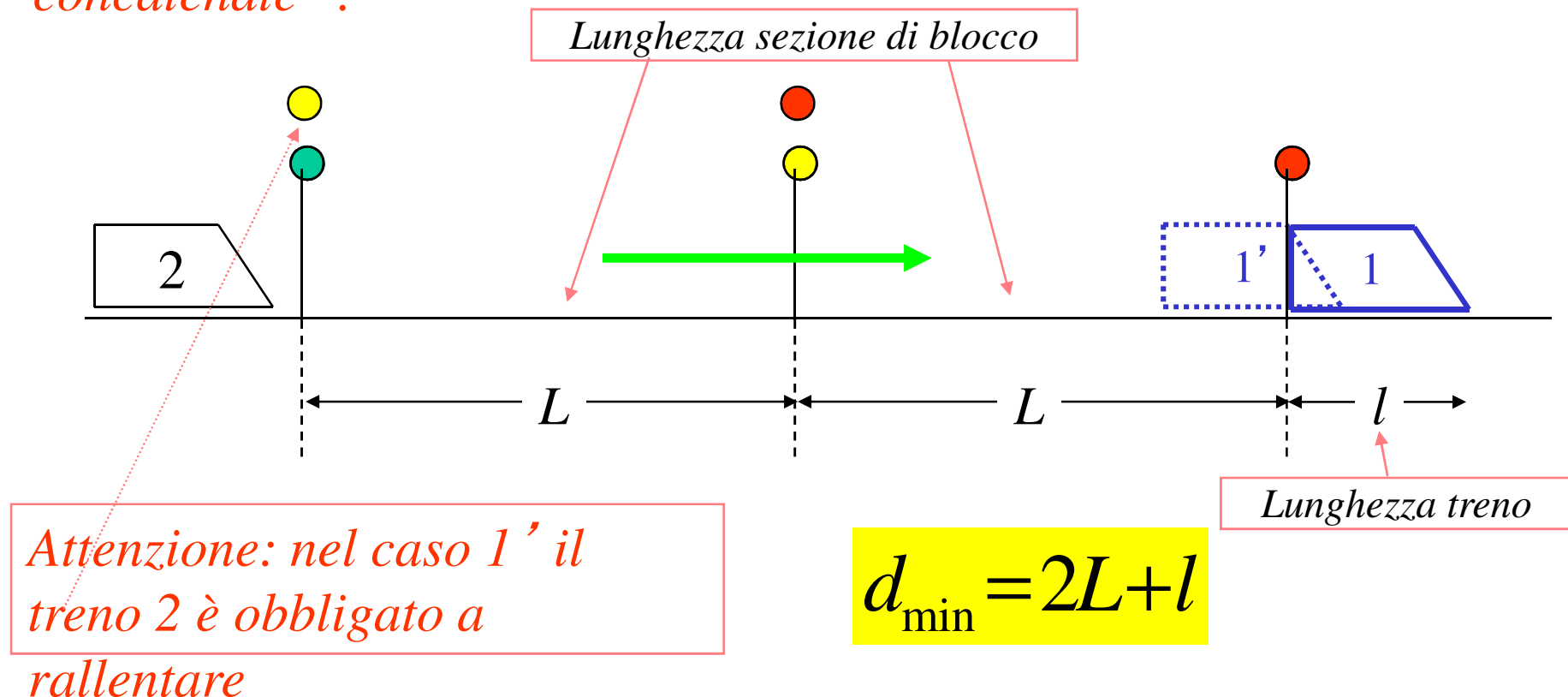
Indicazione del peso reale e del peso frenato sulla *fiancata di una carrozza*



Peso frenato (non è quello del veicolo precedente)

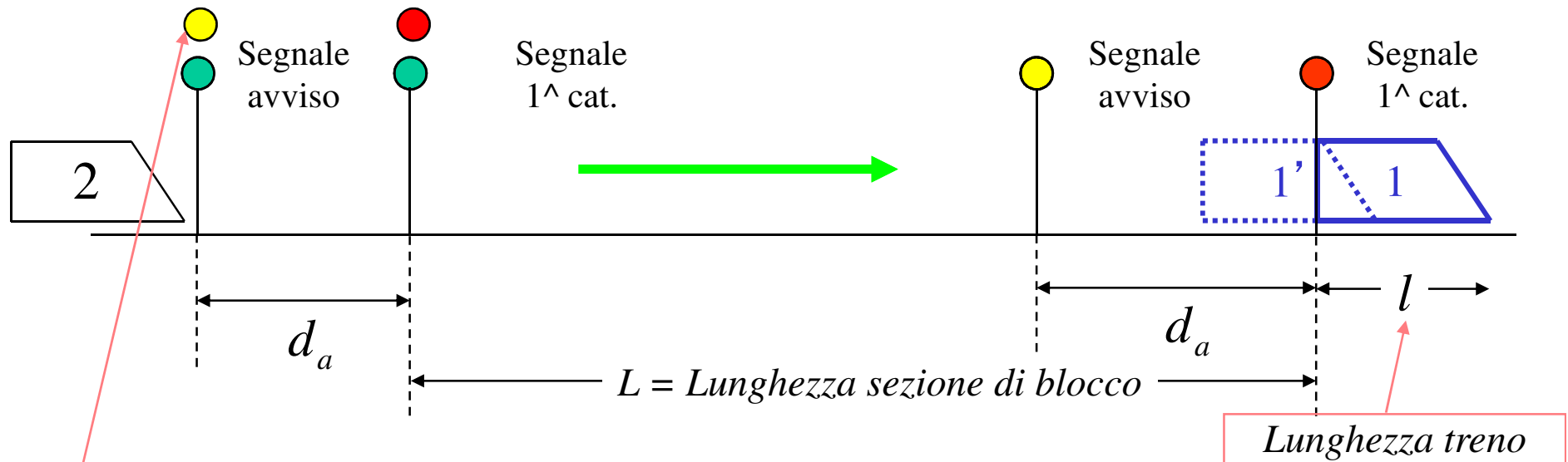
Distanziamento minimo “assoluto” fra due treni che viaggiano alla *stessa velocità* su una linea ferroviaria : “*valore limite della distanza tra due treni che si succedono in corrispondenza del quale il treno che precede non influenzi la marcia del treno che segue*”.

Caso di blocco elettrico automatico a *correnti fisse* (si distingue da quello a *correnti “codificate”* che vedremo in seguito) e *sezioni “concatenate”*.



Distanziamento minimo “assoluto” fra due treni che viaggiano alla *stessa velocità* su una linea ferroviaria.

Caso di blocco elettrico automatico a *correnti fisse* e *sezioni non concatenate*.



Attenzione: nel caso 1' il treno 2 è obbligato a rallentare

$$d_{\min} = d_a + L + l$$

Distanziamento minimo “assoluto” fra due treni che viaggiano alla *stessa velocità* su una linea ferroviaria

In realtà devo tenere conto *anche* della *distanza di visibilità del segnale* poiché la marcia è a vista:

caso “non concatenato”

$$d_{\min} = 200 + d_a + L + l$$

caso “concatenato”

$$d_{\min} = 200 + 2L + l$$

Nel caso di velocità della linea inferiore a 90 km/h la distanza di visibilità si riduce a 150 m .

Comunque, come vedremo parlando della **capacità di una linea ferroviaria**, al d_{min} come calcolato in precedenza, dovranno essere aggiunti gli spazi percorsi nei tempi:

- “ for **route formation**” : comprende, per esempio, il tempo per il posizionamento dei deviatori e di preparazione dei segnali;
- “ for **route realese**” : time required for switching of signals to allow occupancy of the next train (UIC 406).

Inoltre dovrà essere aggiunto lo spazio cosiddetto di “**overlap**”.

Alla fine degli anni 60 entrarono in servizio le E444 che avevano una velocità massima di 200 km/h.

Si pensò quindi di realizzare treni che in esercizio andassero a questa velocità. Ma in questo caso $d_a \approx 2200$ metri.

Quindi la sezione di blocco di $d_a \approx 1350$ metri non sarebbe stata sufficiente.

La soluzione di modificare (allungare) le sezioni di blocco risultava molto costosa in relazione alla necessità di modificare i circuiti di binario.

Tale soluzione avrebbe inoltre penalizzato i treni più lenti (per questi era come se le sezioni fossero non concatenate).

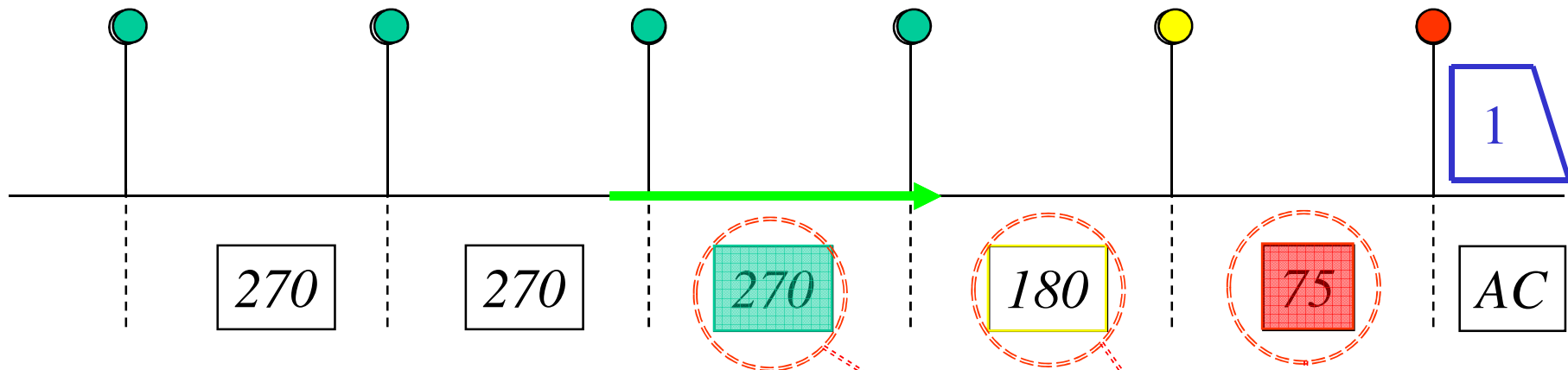
Infine si prevedevano ulteriori incrementi delle velocità dei treni: con l' *aumentare* della *velocità* si ha il problema che *l' affidabilità del segnalamento a vista* risulta inaccettabile.

Le FS pensarono al *blocco elettrico automatico a correnti codificate*.

Il blocco elettrico automatico a correnti codificate è un sistema con *ripetizione segnali in macchina continua* (RSC): il macchinista ha “una vista elettrica” su tre sezioni di blocco davanti al treno (sistema a 4 codici) ed ha una ripetizione dei segnali nella cabina di guida.

Con il blocco automatico a correnti codificate a 4 codici le linee sono attrezzate in modo tale che i *circuiti di binario* sono interessati dalla *circolazione* di *correnti codificate*: i codici evidenziano al macchinista la situazione di libertà della linea davanti al treno.

A *bordo* della locomotiva una *macchina capta il codice* circolante sul binario sulla sezione di blocco attraversata, mediante il fenomeno dell'induzione elettromagnetica; il segnale viene ripetuto in cabina.

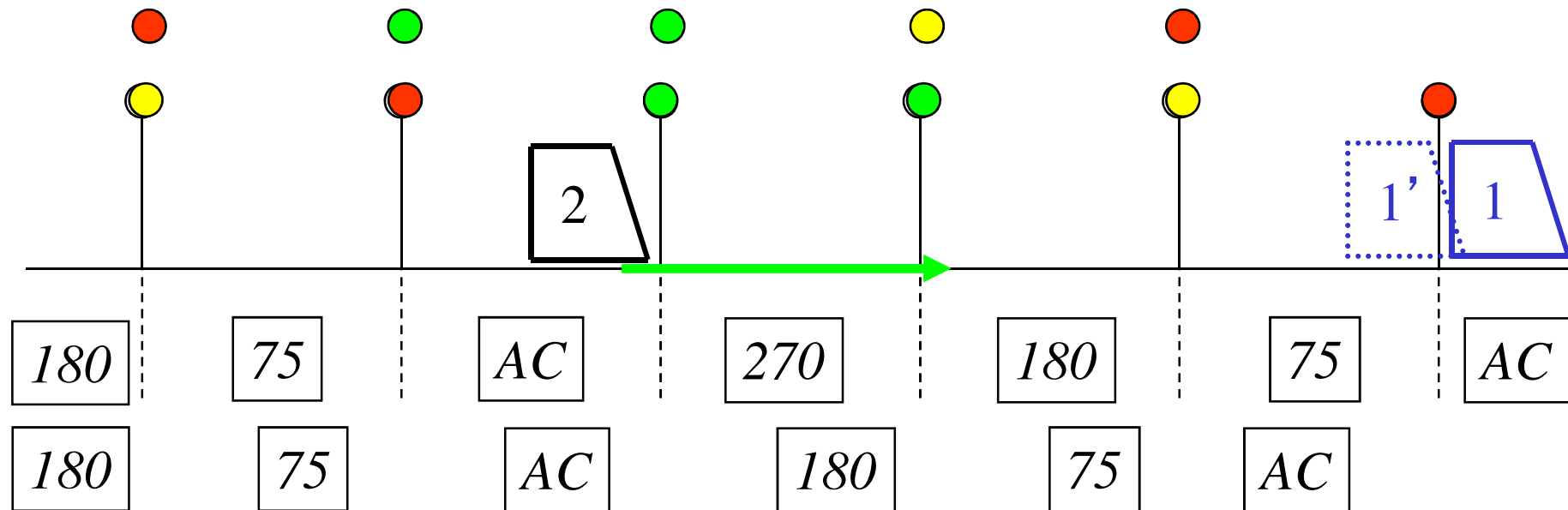


Passato 1' "ultimo verde", la macchina di ripetizione in cabina del segnale capta il *codice 180*. Si accende una luce bianca lattea e suona 1' avvisatore acustico: entro tre secondi il macchinista deve fare il riconoscimento segnale (altrimenti parte la frenatura automatica) il macchinista sa che ha a disposizione due sezioni di blocco (2700 metri) per frenare prima di arrivare nella sezione occupata (quindi può viaggiare in sicurezza fino a velocità di 200km/h).



Distanziamento minimo “assoluto” fra due treni che viaggiano alla *stessa velocità* su una linea ferroviaria

Caso di blocco elettrico automatico a *correnti codificate a 4 codici*

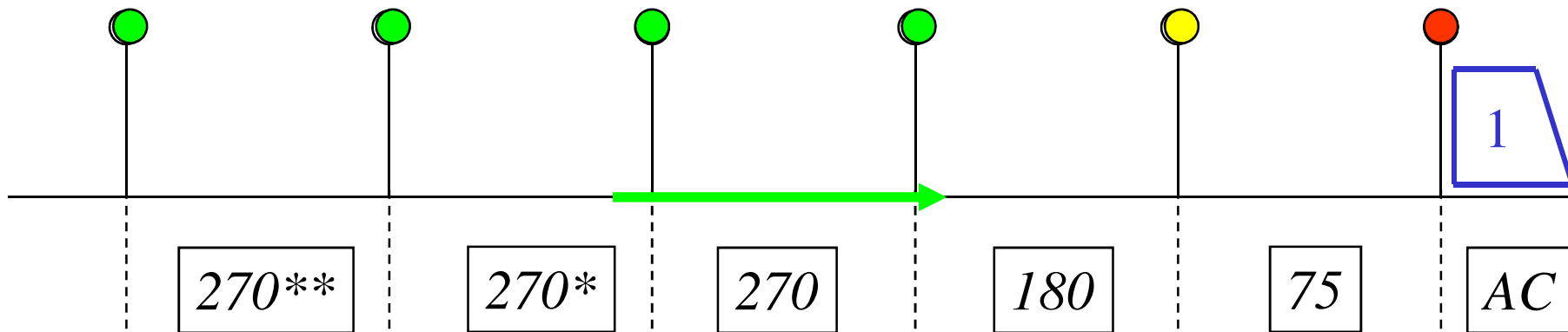


$$d_{\min} = 3L + l$$

Anche a questa $d_{\min}$ si devono aggiungere le distanze percorse nei tempi di “*route formation*”, “*route release*” e lo spazio di “*overlap*” .

Negli anni 70 fu iniziata la costruzione della direttissima Firenze - Roma. La direttissima è stata progettata per 250Km/h. Fu pertanto necessario adeguare il segnalamento in quanto a 250 km/h $d_a \approx 5400$ metri (4 sezioni di blocco)

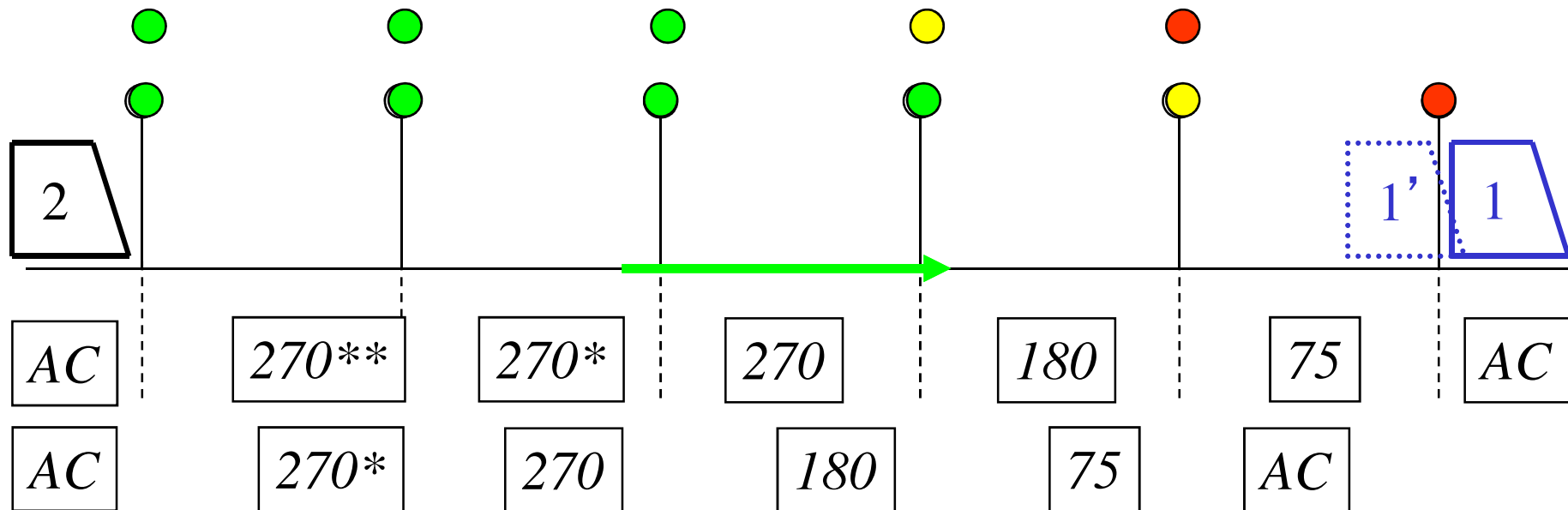
Fu introdotto il *blocco elettrico automatico a 9 codici*



Sequenza di arresto nel caso di blocco elettrico automatico a correnti codificate a 9 codici: *270**-270*-270-180-75-AC*.

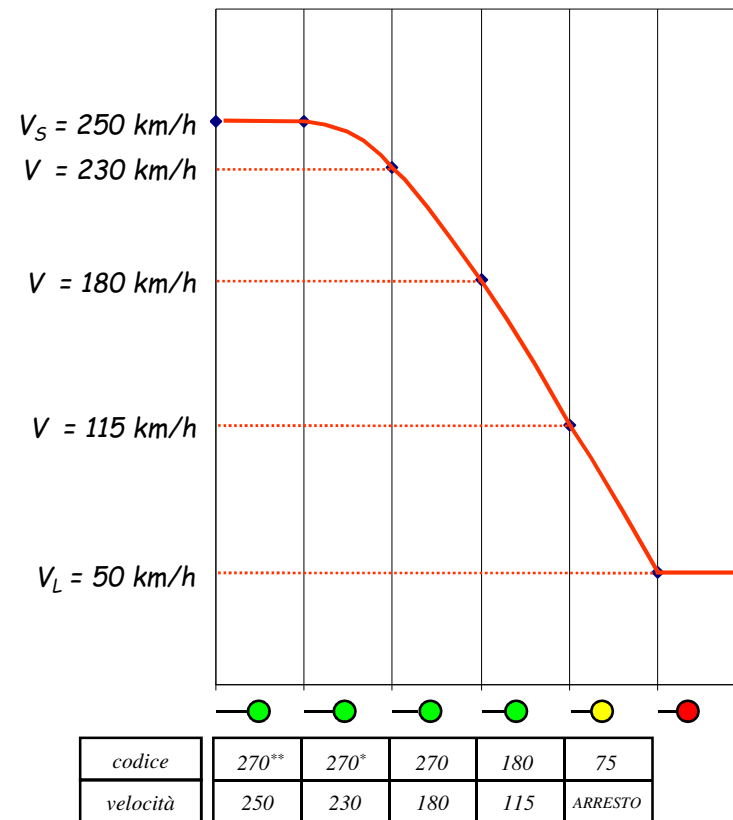
Distanziamento minimo “assoluto” fra due treni che viaggiano alla *stessa velocità* su una linea ferroviaria

Caso di blocco elettrico automatico a *correnti codificate a 9 codici*



$$d_{\min} = 5L + l$$

Anche a questa $d_{\min}$ si devono aggiungere le distanze percorse nei tempi di “*route formation*”, “*route release*” e lo spazio di “*overlap*”.



Nel caso dei nove codici era anche imposta una *curva di frenatura*: se la velocità del treno non stava “sotto” la curva di frenatura entrava in funzione la frenatura automatica.

Questo concetto, *fondamentale per la sicurezza*, è una peculiarità del Sistema Controllo Marcia Treno (SCMT) che è stato esteso, negli ultimi anni, a tutta la rete fondamentale di RFI ed a parte della rete complementare (il resto della complementare è “coperto” da SSC).

Secondo i regolamenti FS non possono essere superate le seguenti velocità (ci possono comunque essere ulteriori restrizioni dovute alla planimetria del tracciato, pendenza della linea e stato dell'armamento).

Senza codici: vel. max = 150 km/h

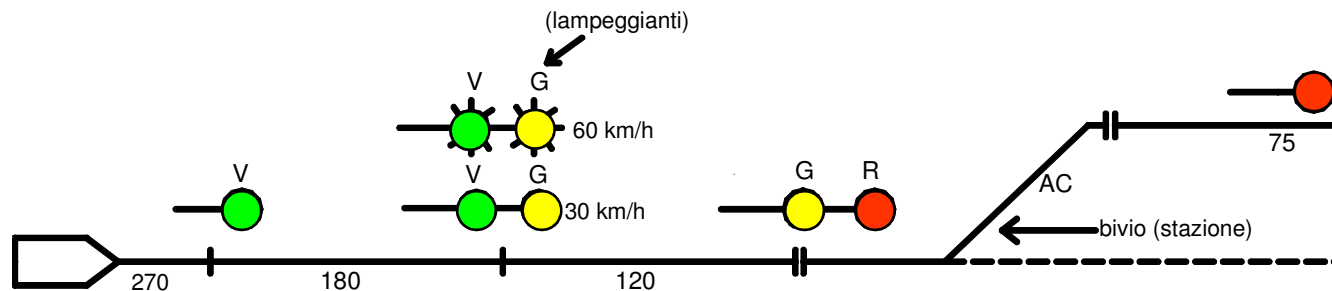
Con 4 codici vel. max: =180 km/h

Con 9 codici vel. max 250 km/h (direttissima Firenze-Roma)

Blocco radio vel. max 300 km/h (Nuove linee ad alta velocità: Roma-Napoli; Torino-Novara; Bologna-Milano, Firenze-Bologna, Treviglio-Brescia)

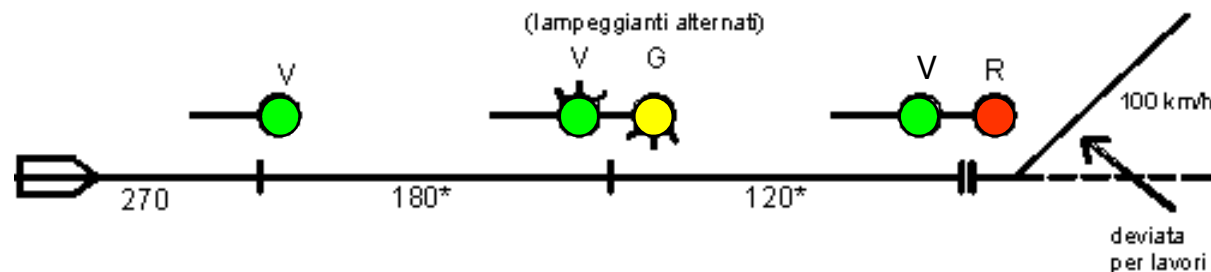
Comunque ci sono linee con velocità max 220 km/h (come per esempio il quadruplicamento veloce Padova- Mestre) ed altre con velocità max 200 Km/h, dove è attivato, sulla linea, il solo codice 270* (ossia sono a 5 codici).

Nel sistema a 4 codici oltre a quelli già visti (75, 180, 270) si ha anche il *codice 120* (oltre ovviamente all' assenza di codice AC).



Itinerario di arresto con percorso in deviata.

Nel blocco a 9 codici ci sono anche il 180* , avviso anticipato di una deviazione che può essere percorsa a 100km/h , e 120* avviso di deviazione che può essere percorsa a 100km/h.



Itinerario in deviata con velocità ammessa di 100 km/h.

Inoltre ci sarebbe anche il 120**, deviata a 130 km/h, non utilizzato. 9 Codici: 270**, 270*, 270, 180*, 180, 120**, 120*, 120, 75 (oltre ovviamente all' assenza di codice).

Esatto significato dei codici nel caso di blocco automatico a correnti codificate - BAcc - a 9 codici (tratto da “Istruzione per il servizio del personale di condotta delle locomotive”)

BAcc 4 codici



Macchina equipaggiata con ripetizione in cabina dei codici

AC (in zona codificata)	Zona occupata o Zona con assenza codice (vedere nota nella tabella della precedente Fig. 4.1)
Codice 75	Avviso di via impedita al successivo segnale di 1ª categoria
Codice 120	Avviso di riduzione di velocità a 30/60/100 km/h al successivo segnale di 1ª categoria disposto a via libera per itinerario deviato, oppure per percorso da effettuarsi con la predetta riduzione di velocità
Codice 120*	Avviso di riduzione della velocità a 100 km/h al successivo segnale di 1ª categoria disposto a via libera per itinerario deviato, o per percorso da effettuarsi con la predetta riduzione di velocità
Codice 120**	Avviso di riduzione della velocità a 130 km/h al successivo segnale di 1ª categoria disposto a via libera per itinerario deviato, o per percorso da effettuarsi con la predetta riduzione di velocità. Codice non utilizzato
Codice 180	Indicazione di via libera per almeno 1.350 m, potendosi verificare alcune situazioni, di cui le principali sono: a) avviso anticipato di segnale di 1ª categoria disposto a via impedita, o a via libera per un percorso deviato a velocità non superiore a 30/60/100 km/h; b) avviso anticipato di riduzione di velocità per rallentamento; c) avviso fine zona codificata (la tratta interessata si rileva dall'Orario di Servizio e secondo le norme del Regolamento Segnali); d) avviso di inizio zona non codificata (la tratta interessata si rileva come al punto c); e) avviso e riduzione della velocità per lavori imposta dal codice; f) avviso di variazione della velocità massima della linea in diminuzione in punti singolari;
Codice 180*	Indicazione di via libera per almeno 1.350 m, potendosi verificare le seguenti condizioni: a) avviso anticipato di segnale di 1ª categoria disposto a via libera per un percorso deviato a velocità non superiore a 100 km/h (o 130 km/h, non utilizzato), oppure per un percorso da effettuarsi a velocità non superiore a 100 km/h (o 130 km/h, non utilizzato) b) avviso di riduzione della velocità massima di linea a 150 km/h per lavori
Codice 270	Indicazione di via libera per una estensione di almeno 2.700 m
Codice 270*	Indicazione di via libera per una estensione di almeno 4.050 m
Codici 270**	Indicazione di via libera per una estensione di almeno 5.400 m



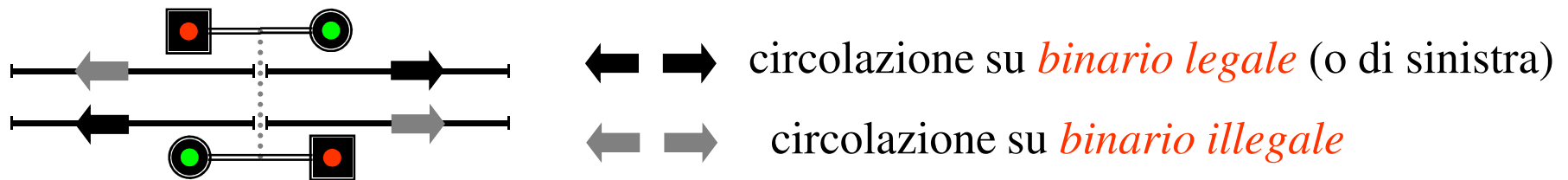
*Linee RFI equipaggiate con: **blocco elettrico automatico a correnti codificare (BACC); ERTMS**, regime di circolazione delle nuove linee ad alta velocità.*

BLOCCO ELETTRICO AUTOMATICO BANALIZZATO

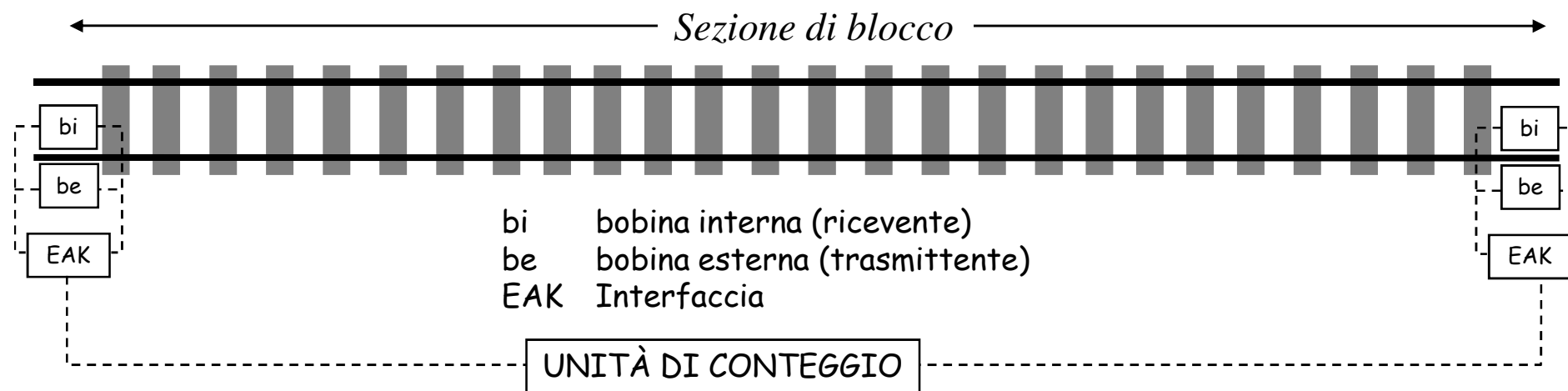
BAB

Interessa le linee a doppio binario attrezzate con blocco automatico (BAcf, BAcc, Bca) .

Entrambi i binari sono attrezzati con il Blocco Automatico promiscuamente in entrambi i sensi di marcia



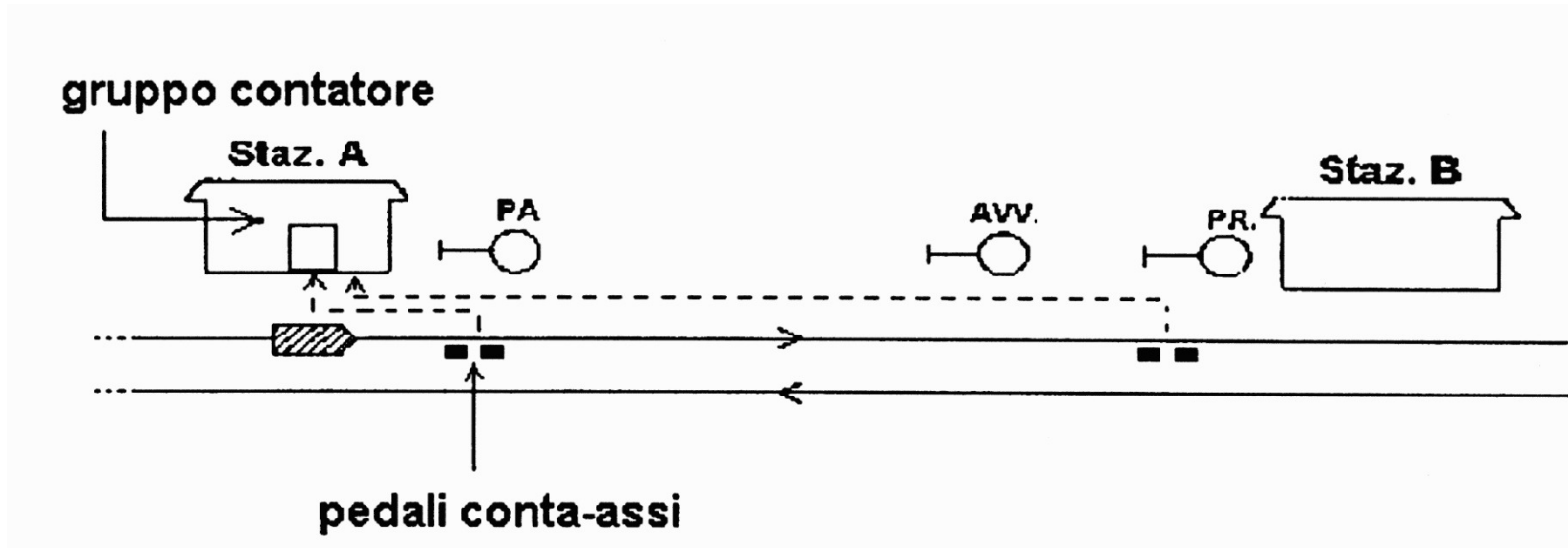
Blocco Elettrico conta assi



Blocco elettrico *economico* (non richiede circuiti di binario) si è diffuso su linee con *velocità e traffico non elevati*; pertanto non richiede, generalmente, *sezioni concatenate*. È il sistema *più diffuso* sulla rete RFI.

La libertà di una sezione di blocco è verificata contando il numero di assi entrati ed usciti. Se la *differenza è nulla* la sezione di blocco è ritenuta *libera*.

Blocco Elettrico conta assi



Fonte: Sciutto G. e Galaverna M.
Tecnologie dei Trasporti e territorio,
Edizioni Sciro, 2000.

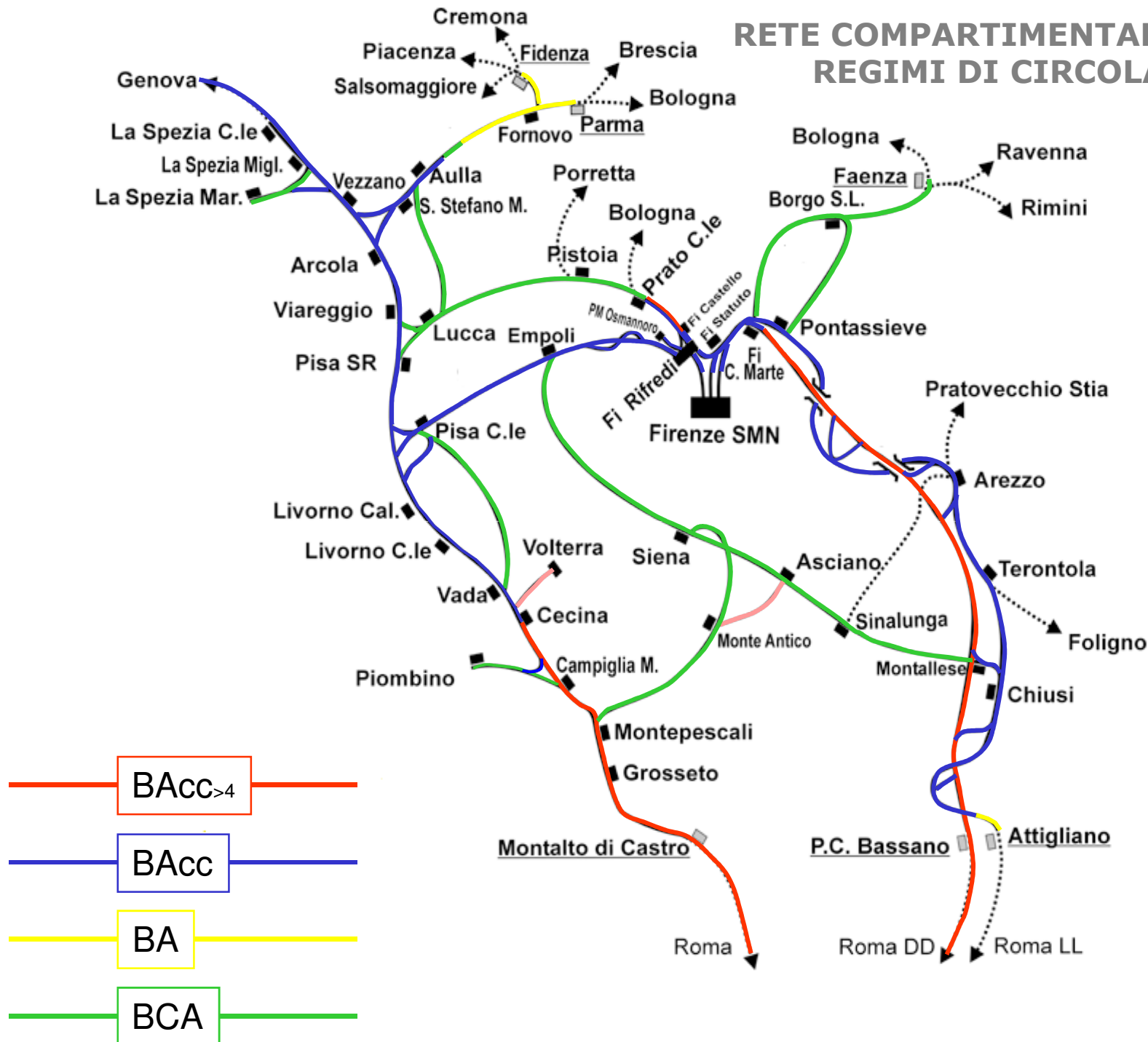
Distanziamento minimo “assoluto” fra due treni che viaggiano alla *stessa velocità* su una linea ferroviaria:

$$d_{\min} = d_a + L + l + 200$$

E' uguale a quello, già visto, per il blocco a circuito di binario a correnti fisse e *sezioni non concatenate*.

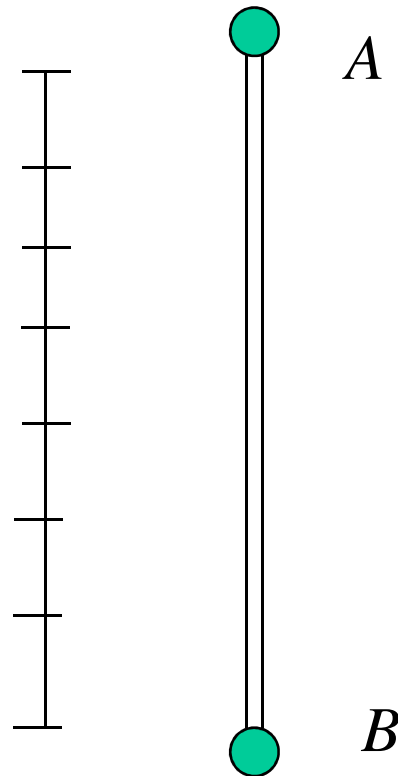
Anche a questa $d_{\min}$ si devono aggiungere le distanze percorse nei tempi di “*route formation*”, “*route release*” e lo spazio di “*overlap*”.

RETE COMPARTIMENTALE TOSCANA REGIMI DI CIRCOLAZIONE



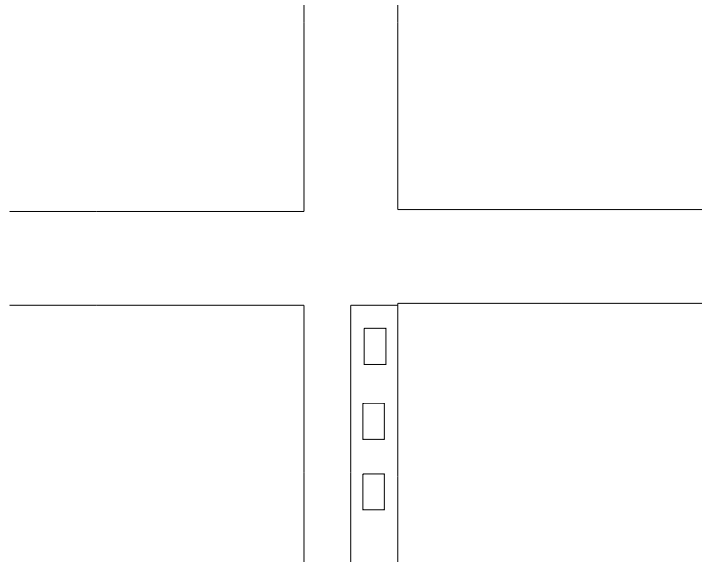
Capacità di una sezione di linea

Si dice *sezione di linea*: una parte di una linea compresa fra due stazioni successive A e B (A e B possono essere *posti di movimento*: ossia non adibiti al servizio pubblico, ma atti ad effettuarvi precedenza o incroci). La sezione di linea può essere a sua volta divisa in più sezioni di blocco.



Per *potenzialità (capacità) di una sezione di linea* si intende il numero massimo di treni che può circolare sulla sezione di linea nel rispetto di prefissate condizioni di esercizio.

Metodo UIC (Union Internationale des Chemins de Fer, UIC 405): si assimila il tratto di linea ad un *sistema a coda* come viene fatto, per esempio, nel caso di un'intersezione stradale.



Nel caso di un'intersezione stradale il *servizio richiesto* è *l'accesso all'intersezione*. Nel caso ferroviario, di una sezione di linea, il servizio richiesto è *l'accesso alla sezione di linea*.

Se i tempi di servizio, per un certo periodo di tempo, sono superiori ai tempi di arrivo (fra due arrivi successivi) si forma una coda (per esempio nel caso di una biglietteria: se il tempo per fare il biglietto è maggiore del tempo fra gli arrivi di due utenti successivi).

$$\rho = \frac{b}{a}$$

$\swarrow$ Tempo *medio* di servizio
 $\nwarrow$ Tempo *medio* fra due arrivi successivi

Secondo l'UIC deve essere $\rho \leq 0,6$ affinché la probabilità del formarsi di una coda sia trascurabile.

Consideriamo una *linea omotachica* (treni che vanno alla stessa velocità)

Il tempo di servizio è dovuto al fatto che bisogna assicurare la distanza di sicurezza fra due treni successivi. *l'intervallo temporale minimo* fra due treni successivi è dato da:

$$t_{\min} = \frac{d_{\min}}{V}$$

$$\rho = \frac{t_{\min}}{t_{\min} + t_a}$$

Dove t_a è il tempo di ampliamento

Imponendo che sia $\rho \leq 0,6$ si determina il valore del tempo di ampliamento:

$$\frac{t_{\min}}{t_{\min} + t_a} \leq 0,6 \Rightarrow t_{\min} \leq 0,6(t_{\min} + t_a) \Rightarrow t_a \geq \frac{0,4}{0,6} t_{\min} = 0,67 t_{\min}$$

Quindi il tempo minimo medio fra due arrivi successivi, affinché la probabilità del formarsi di una coda sia trascurabile, deve essere almeno pari a:

$$t_{\min} + t_a = 1,67 t_{\min}$$

Tempo minimo medio fra due arrivi (passaggi) successivi affinché la probabilità del formarsi della coda sia trascurabile ($\rho \leq 0,6$)

Capacità di una sezione di
linea

$$\frac{60}{1,67 t_{\min}}$$

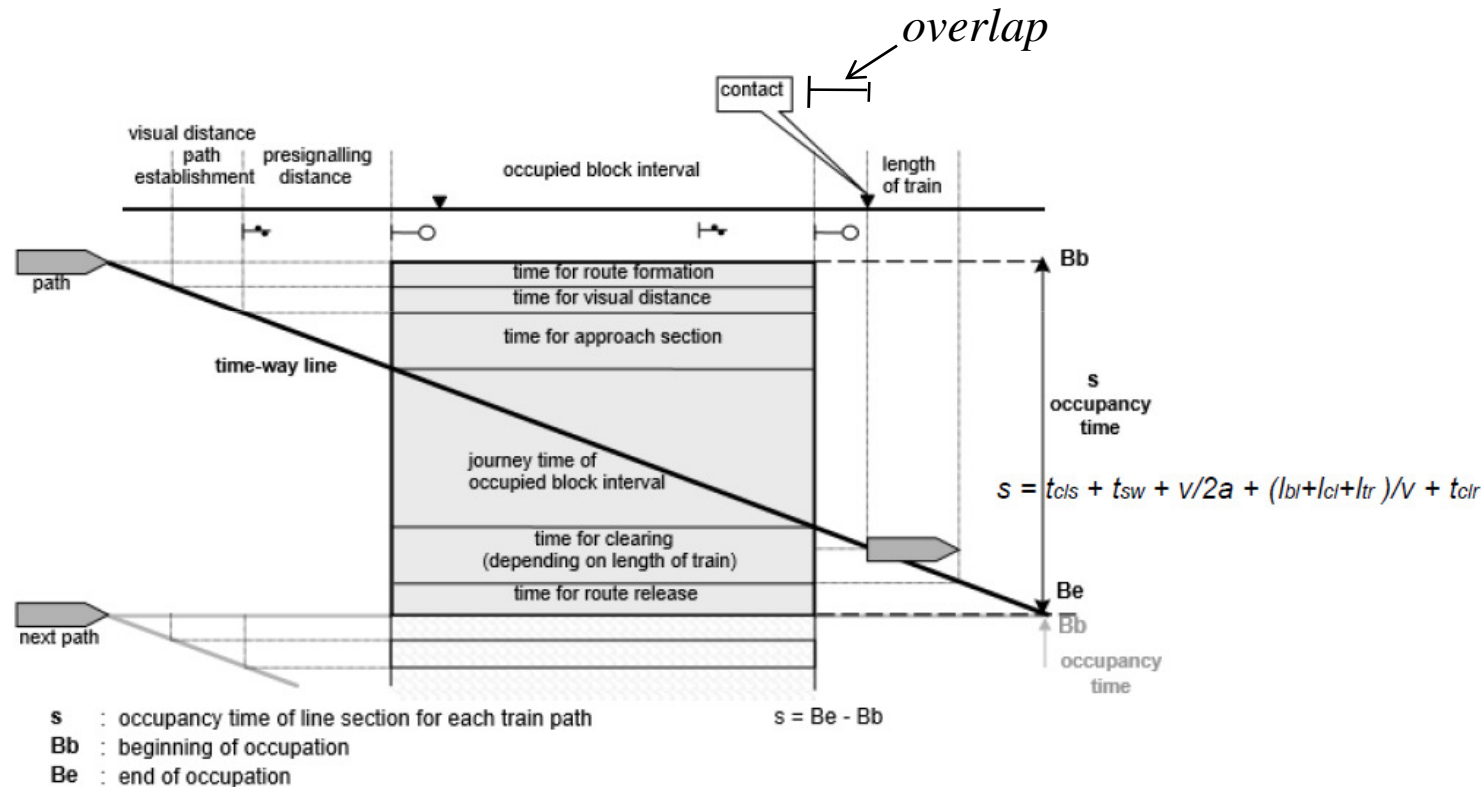
Linee omotachiche
minuti

E' l'intervallo minimo medio fra due passaggi successivi (affinché la probabilità del formarsi della coda sia trascurabile)

La norma **UIC** (UCI Code **406 : Capacity**) suggerisce un **intervallo minimo** secondo lo schema qui sotto riportato.



Blocking time estimation



Source Fig.15: UIC (2013)

Fig. 15 - Physical attributes of a block section

Fonte: Hansen I.A, *Capacity Estimation Principles and Method*, 27-11-2017, [https://www.cityu.edu.hk/csie/tbrs/event/\[2017-11-17\]Event%20Speakers%20Ppt/HANSEN%20pres%20Capacity%20estimation%20methods%20CityU.pdf](https://www.cityu.edu.hk/csie/tbrs/event/[2017-11-17]Event%20Speakers%20Ppt/HANSEN%20pres%20Capacity%20estimation%20methods%20CityU.pdf)

Come è stato detto, al tempo per coprire la d_{min} , calcolata come visto precedentemente parlando dei regimi di circolazione, devono essere aggiunti:

- il “time for **route formation**”
- il “time for **route realese**”
- il tempo per percorrere lo spazio di “**overlap**”.

Esempio: blocco elettrico automatico a circuito di binario a correnti fisse; sezioni concatenate; velocità 150 km/h

Assumiamo :

- “time for route formation” + ”time for route realese” : $t_{rf} + t_{rr} = 20 \text{ sec.}$
- “overlap”= 100 m
- Lunghezza treno di massima composizione: 420 m

$$d_{\min} = 200 + 2L + s_0 + l + v(t_{rf} + t_{rr}) =$$

$$200 + 2 \cdot 1350 + 100 + 420 + \frac{150}{3,6} (20) = 4254 \text{ m}$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \left(\frac{4,254}{150} 60 \right)} \approx 21 \text{ passaggi/h}$$

Consideriamo però un treno merci di “lunghezza europea”, 740 m, che viaggia ad una velocità di 100 km/h.

$$d_{\min} = 200 + 2L + s_0 + l + v(t_{rf} + t_{rr}) =$$

$$200 + 2 \cdot 1350 + 100 + 740 + \frac{100}{3,6} (20) = 4296 \text{ m}$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \left(\frac{4,296}{100} 60 \right)} \approx 13,9 \text{ passaggi/h}$$

Esempio: blocco elettrico automatico a circuito di binario a correnti codificate a 4 codici; sezioni concatenate; velocità 180 km/h

Assumiamo :

- “time for route formation” + ”time for route realese” : $t_{rf} + t_{rr} = 20 \text{ sec.}$
- “overlap”= 100 m
- Lunghezza treno di massima composizione: 420 m

$$d_{\min} = 3L + s_0 + l + v (t_{rf} + t_{rr}) =$$
$$3 \cdot 1350 + 100 + 420 + \frac{180}{3,6} (20) = 5570 \text{ m}$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \frac{5,57}{180} 60} \approx 19 \text{ passaggi/h}$$

Esempio: blocco elettrico automatico a circuito di binario a correnti codificate a 9 codici; sezioni concatenate; velocità 250 km/h

Assumiamo :

- “time for route formation” + ”time for route realese” : $t_{rf} + t_{rr} = 20$ sec.
- “overlap”= 100 m
- Lunghezza treno di massima composizione: 330 m

$$d_{\min} = 5L + s_0 + l + v (t_{rf} + t_{rr}) =$$
$$5 \cdot 1350 + 100 + 330 + \frac{250}{3,6} (20) = 8569 \text{ m}$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \frac{8,569}{250} 60} \approx 17 \text{ passaggi/h}$$

Dagli esempi precedenti si può notare che, nel caso di sezioni concatenate, la capacità diminuisce all’aumentare della velocità (infatti d_a varia più che linearmente con la velocità).

Esempio: nuove linee ad alta velocità; velocità 300 km/h; percorse da ETR 500.

Assumiamo :

- “time for route formation” + ”time for route realese” : $t_{rf} + t_{rr} = 10 \text{ sec.}$
- “overlap”= 100 m
- lunghezza ETR 500 $\approx 330 \text{ m}$ (2 locomotive+ 11 carozze)

Le nuove linee ad alta velocità hanno generalmente sezioni di blocco di lunghezza 1800m.

ETR 500 a 300 km/h: $d_a \approx 9000 \text{ m}$

$$d_{\min} = L + \underset{\substack{\uparrow \\ d_a}}{5L} + s_0 + l + \frac{V}{3,6}(10) = 6 \cdot 1800 + 100 + 330 + \frac{300}{3,6}10 = 12064 \text{ m}$$

d_a
 potenzialità $\frac{60}{1,67 \frac{12,064}{300} 60} \approx 14,9 \text{ treni/h}$

Esempio: blocco elettrico automatico conta assi; sezione di 5 km; velocità 140 km/h.

Ammettiamo che la sezione di linea sia costituita da un'unica sezione di blocco di lunghezza di 5 km. Ammettiamo che il blocco elettrico sia del tipo conta assi.

Assumiamo :

- “time for route formation” + ”time for route realese”: $t_{rf} + t_{rr} = 20 \text{ sec.}$
- “overlap”= 100 m
- Lunghezza treno di massima composizione 420 m

Supponendo: $V=140\text{km/h}$ e 1350m per la distanza di arresto (a cui è posto il segnale di avviso) avremo:

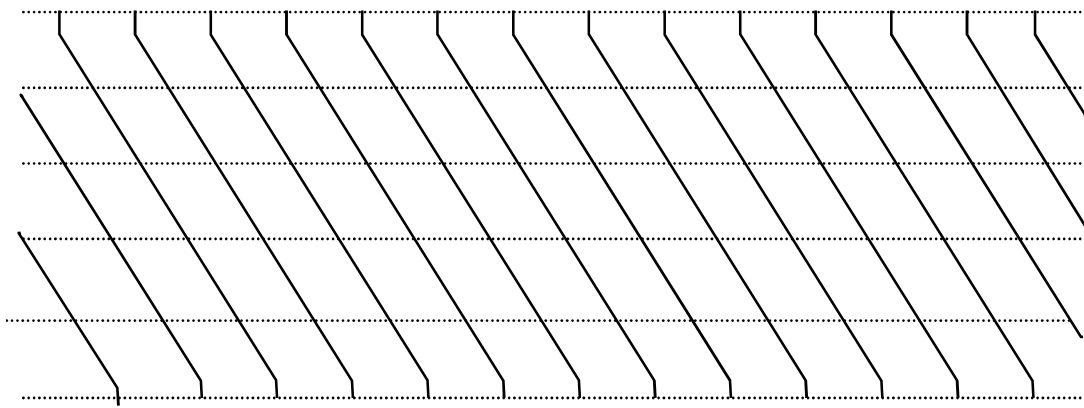
$$\begin{aligned} d_{\min} &= 200 + d_a + L + s_o + l + v (t_{rf} + t_{rr}) = \\ &= 200 + 1350 + 5000 + 100 + 420 + \frac{140}{3,6} (20) = 7848 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \frac{7,848}{140} 60} \approx 10,7 \quad \text{treni/h}$$

Consideriamo però un treno merci di “lunghezza europea”, 740m, che viaggia ad una velocità di 100 km/h.

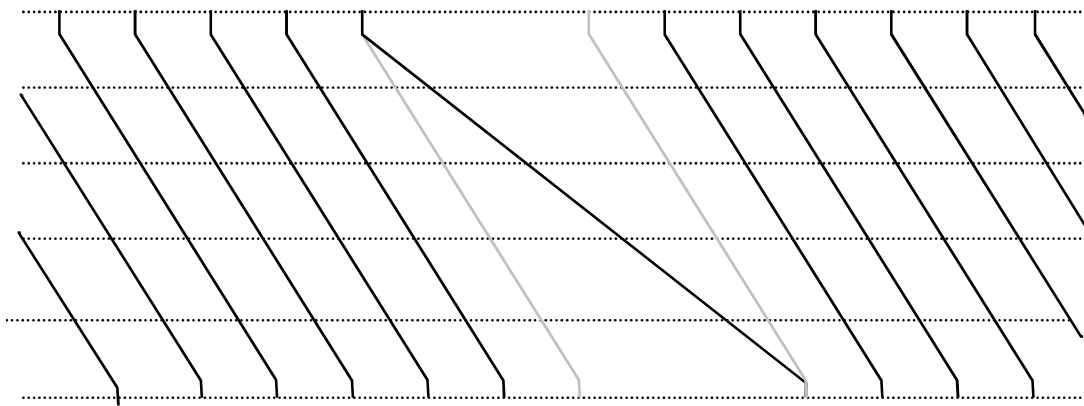
$$\begin{aligned} d_{\min} &= 200 + d_a + L + s_o + l + v (t_{rf} + t_{rr}) = \\ &= 200 + 1350 + 5000 + 100 + 740 + \frac{100}{3,6} (20) = 7946 \, m \end{aligned}$$

$$\text{potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 \frac{7,946}{100} 60} \approx 7,5 \quad \text{passaggi/h}$$



- **Circolazione omotachica**

- linea percorsa da treni con *identica velocità* di impostazione
- *utilizzo ottimale* dell'infrastruttura



- La presenza di un treno con prestazioni diverse comporta una *riduzione* della *potenzialità*

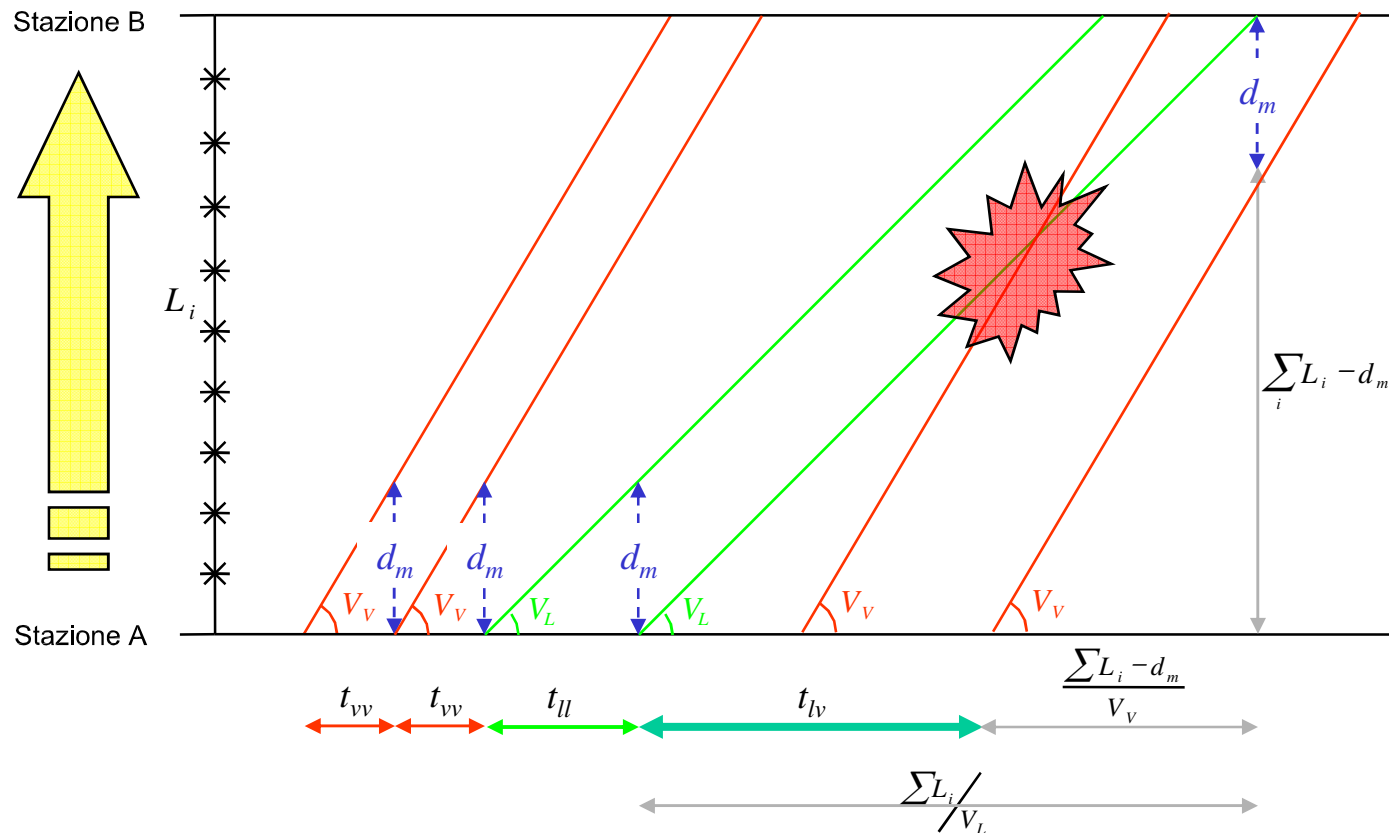
Linee eterotachiche

Immaginiamo di avere due classi di treni (nell'intervallo orario di cui si vuole determinare la capacità):

- Classe “veloce” che va ad una velocità V_V
- Classe “lenta” che va ad una velocità V_L

Consideriamo, per esempio, di avere un regime di circolazione a blocco automatico a correnti fisse. Il distanziamento minimo sarà :

$$d_{\min} = 200 + 2L + s_o + \frac{l_L + l_V}{2} + \frac{V_L + V_V}{3,6} (t_{rf} + t_{rr})$$



Coppia “veloce -
veloce”

$$t_{vv} = \frac{d_m}{V_v}$$

Coppia “lento -
lento”

$$t_{ll} = \frac{d_m}{V_L}$$

Coppia
“veloce-
lento”

$$t_{vl} = \frac{d_m}{V_v} = t_{vv}$$

Coppia
“lento-
veloce”

$$t_{lv} = \frac{\sum_i L_i}{V_L} - \frac{\sum_i L_i - d_m}{V_v}$$

$$t'_m = t_{vv} p_{vv} + t_{vl} p_{vl} + t_{ll} p_{ll} + t_{lv} p_{lv}$$

*intervallo temporale minimo
medio* per linee eterotachiche

Probabilità di avere le diverse coppie

*Potenzialità
linee eterotachiche*

$$\frac{60}{1,67 t'_m}$$

minuti

*Tempo medio minimo fra due arrivi
(passaggi) successivi* per linee
eterotachiche (metodo UIC).

$$p_{vv} = \frac{n_{vv}}{n_{tot}} \quad p_{vl} = \frac{n_{vl}}{n_{tot}} \quad p_{ll} = \frac{n_{ll}}{n_{tot}} \quad p_{lv} = \frac{n_{lv}}{n_{tot}}$$

(Stimo la probabilità con la frequenza relativa)

Esempio: Distanza fra le due stazione A e B: 25 km. Blocco elettrico automatico conta assi; sezione di 5 km. $V_V = 120$ km/h (treno regionale), $V_L = 80$ km/h (treno merci); $L_V = 420$ m; $L_L = 740$ (treno merci di “lunghezza europea”)

Assumiamo :

- “time for route formation” + “time for route realese” : $t_{rf} + t_{rr} = 20$ sec.
- “overlap” = 100 m

$$d_{\min} = 200 + d_a + L + s_o + l + v (t_{rf} + t_{rr}) =$$

$$= 200 + 1350 + 5000 + 100 + \frac{420 + 740}{2} + \frac{(120 + 80) / 2}{3,6} (20) = 7786 \text{ m}$$

Coppia “veloce - veloce”

$$t_{vv} = \frac{d_m}{V_v} = \frac{7,786}{120} 60 = 3,89 \text{ min } uti$$

Coppia “veloce-lento”

$$t_{vl} = \frac{d_m}{V_v} = t_{vv} = 3,89 \text{ min } uti$$

Coppia “lento - lento”

$$t_{ll} = \frac{d_m}{V_L} = \frac{7,786}{80} 60 = 5,84 \text{ min } uti$$

Coppia
“lento-
veloce”

$$t_{lv} = \frac{\sum_i L_i}{V_L} - \frac{\sum_i L_i - d_m}{V_v} = \frac{25}{80} 60 - \frac{25 - 7,786}{120} 60 = 10,14 \text{ min } uti$$

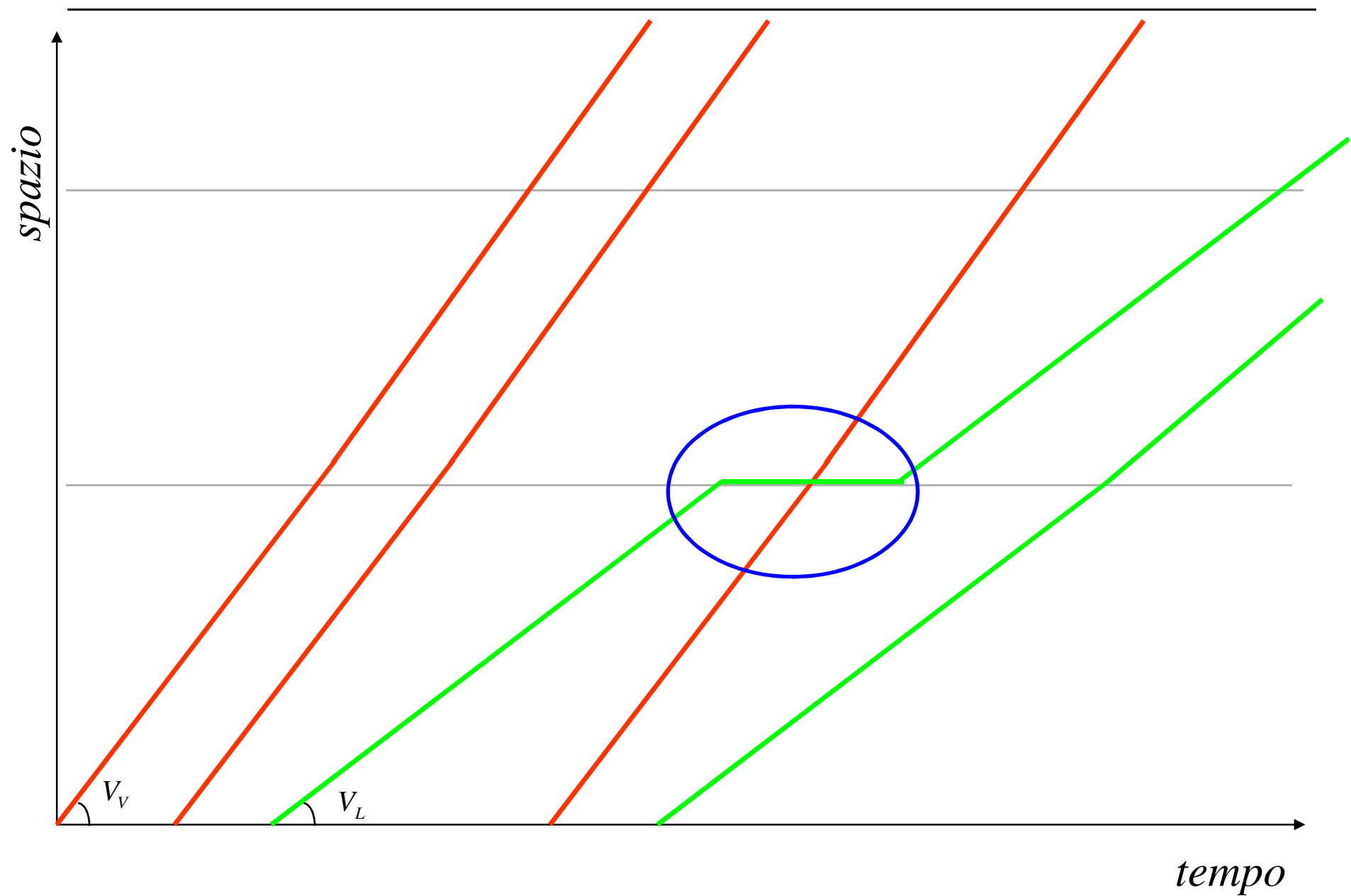
Supponiamo: $p_{vv} = p_{vl} = p_{ll} = p_{lv} = 0,25$

$$t'_m = t_{vv} p_{vv} + t_{vl} p_{vl} + t_{ll} p_{ll} + t_{lv} p_{lv} =$$

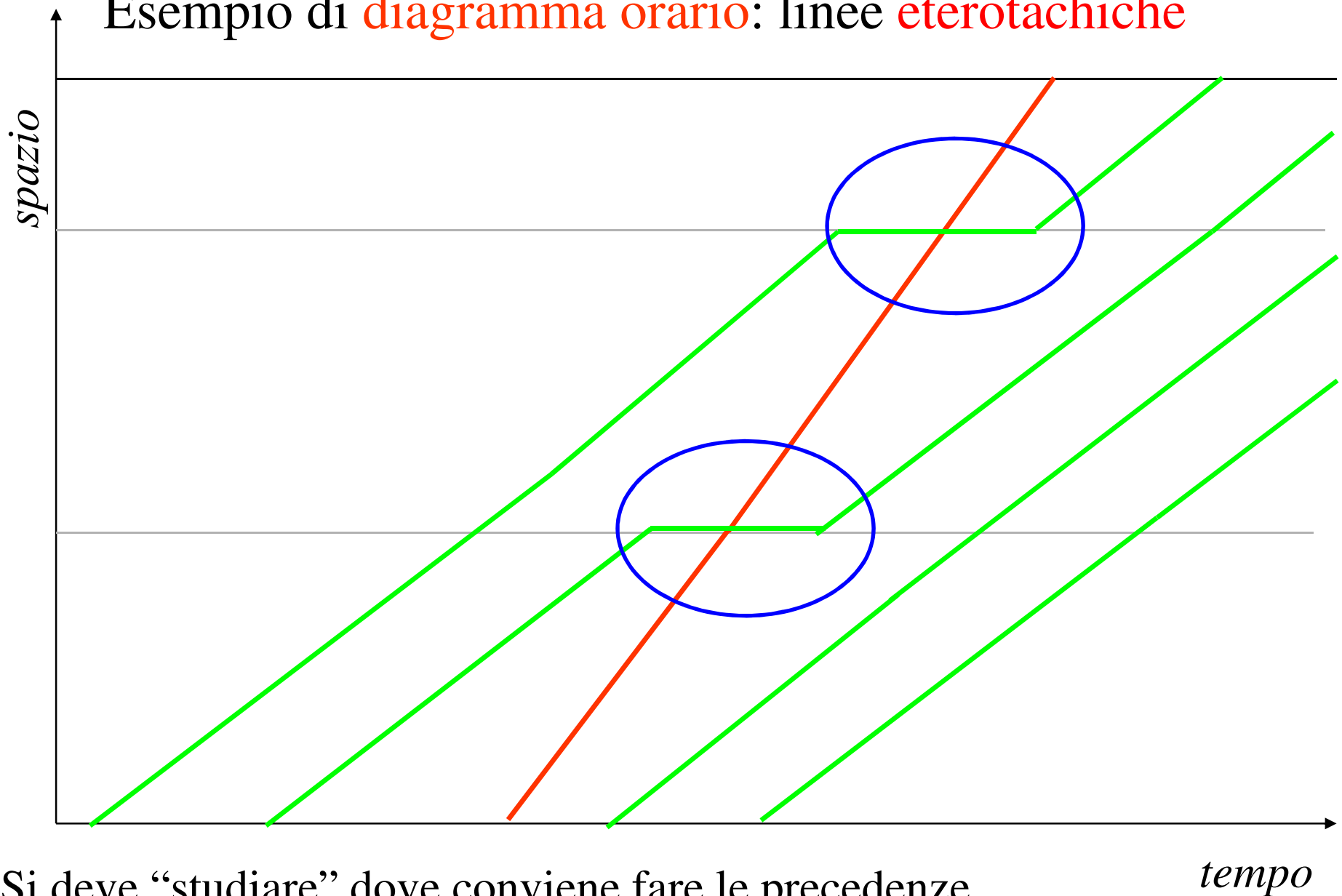
$$= 3,89 \cdot 0,25 + 3,89 \cdot 0,25 + 5,84 \cdot 0,25 + 10,14 \cdot 0,25 = 5,94 \text{ min } uti$$

$$\text{Potenzialità} \quad \frac{60}{1,67 t'_m} = \frac{60}{1,67 \cdot 5,94} \approx 6 \quad \text{passaggi/h}$$

Esempio di **diagramma orario**: linee **eterotachiche**



Esempio di **diagramma orario**: linee **eterotachiche**



Spesso in campo ferroviario tenuto conto:

- dell'utilizzo giornaliero delle linee
- dell'esperienza acquisita definendo i diagrammi orari, in cui in particolare devono essere organizzate le precedenza (e gli incroci per le linee a binario unico)
- della pratica dell'esercizio

Si esprima la potenzialità di una linea ferroviaria in termini di *treni giorno*:

Alcuni *valori indicativi* sono:

250 ÷ 300 treni/giorno per linee a doppio binario

80 ÷ 90 treni/giorno per linee a binario unico

(Comunque, nella pratica dell'esercizio, sono stati osservati anche valori superiori a quelli su riportati)

RFI nel **Prospetto Informativo Rete 2018** (fonte: http://www.rfi.it/cms-file/allegati/rfi_2014/PIR_2018.pdf), definisce dei **valori soglia di capacità oraria e giornaliera**, per **classi di linea**. Questa capacità: è funzione delle caratteristiche tipo dell'infrastruttura, dei livelli medi di eterotachia attribuiti alla specifica classe, tiene conto del numero medio di ore di circolazione giornaliera.

Tabella 3.7 – Valori soglia capacità

Tipo di linea	Valori soglia di capacità oraria per senso di marcia (treni/h)	Valori soglia di capacità giornaliera per senso di marcia (treni/g)
AV	9	125
DD (FIRENZE-ROMA)	8	120
PASSANTE NAPOLI	9	140
PASSANTE MILANO	13	230
linea BA a traffico misto	6	100
linea BEM a traffico misto	3	50
linea BCA a traffico misto	3	60
linea SB	4	70 (nei due sensi di marcia)

Fonte: http://www.rfi.it/cms-file/allegati/rfi_2014/PIR_2018.pdf, pag.86

Capacità (potenzialità) di una linea in passeggeri o tonnellate

$$\begin{array}{ccccc}
 C_{\text{passeggeri o tonnellate}} & = & C_{\text{treno}} & & C_{\text{n. max treni}} \\
 \swarrow & & \downarrow & & \searrow \\
 \begin{array}{l} [\text{passeggeri}]/[\text{ora o giorno}] \\ [\text{tonnellate}]/[\text{giorno}] \end{array} & & \begin{array}{l} [\text{passeggeri}]/[\text{treno}] \\ [\text{tonnellate}]/[\text{treno}] \end{array} & & \begin{array}{l} [\text{treni}]/[\text{ora o giorno}] \\ [\text{treni}]/[\text{giorno}] \end{array}
 \end{array}$$